

## **STRATEGIJE ZA PROŠIRENJE RESURSA MREŽE U FUNKCIJI MODELA TRAZNJE**

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Goran Marković  
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

**Sadržaj:** *U ovom radu biće razmotrena primena strategija za proširenje mrežnih resursa u funkciji modela tražnje za servisima. Deo istraživanja vezan je za ispitivanje zavisnosti nivoa saobraćaja na linku i parametara Bass-vog difuzionog modela na slučaju određivanja optimalnog vremena za proširenje DWDM linka. Navedena zavisnost je analizirana u numeričkom primeru.*

**Ključne reči:** *strategije proširenja resursa mreže, Bass-ov difuzioni model, DWDM link.*

### **1. Uvod**

U dinamičkom okruženju multiservisnih širokopoljanskih telekomunikacionih mreža, javlja se stalna potreba za zadovoljenjem rastućih zahteva korisnika za uvođenjem novih servisa. Stepem prihvatanja ponuđenih servisa od strane korisnika Internet-a ima direktan uticaj na raspoloživost kapaciteta magistralnih (*backbone*) linkova, što za posledicu može da ima projektovanje novih ili proširenje postojećih resursa telekomunikacionih mreža. Navedena činjenica utiče na to da rešavanje problema određivanja optimalnog vremena za proširenje mrežnih resursa postaje jedan od najvažnijih zadataka mrežnih operatora. Pravilan izbor strategije za proširenje mrežnih resursa ima direktan uticaj na nivo profita, kao i ušteda koji se mogu ostvariti u toku eksploatacije jedne mreže. Rastući trend tražnje pojedinih atraktivnih servisa ukazuje na potrebu da problematika proširenja resursa mreže predstavlja permanentni zadatak sa kojim se operatori suočavaju. Takav optimizacioni problem obuhvata i određivanje optimalnog vremenskog perioda do realizacije odluke o proširenju resursa mreže. Prognoziranje potrebnih resursa mreže treba da omogući da se zadovolje potrebe korisnika u dužem vremenskom periodu. U slučajevima kada je tražnja mnogo veća od mogućnosti njenog zadovoljenja, odnosno kada zahtevani kvalitet servisa (QoS) postane značajno degradiran, proširenje kapaciteta se mora pristupiti odmah. Međutim, ukoliko je funkcija tražnje za telekomunikacionim servisima dobro procenjena, proširenje kapaciteta se pristupa u unapred planiranim periodima. Obzirom da je cilj optimizacije određivanje optimalnog perioda proširenja resursa mreže, prisutna je i neizvesnost koja se odnosi na rezultate prognoziranja intenziteta saobraćaja.

U ovom radu biće predstavljen novi model strategije za proširenje mrežnih resursa na primeru DWDM linka. Razmatrani model uključuje zavisnost intenziteta

saobraćaja na linku od parametara koji utiču na proces difuzije novih servisa, odnosno, parametara inovacije i imitacije, kao i potencijala tržišta.

Razvijeni model bazira se na pravilu *The rule of thumb*, kod kojeg se proširenje mreže inicira u momentu kada je prevaziđen određeni nivo iskorišćenosti resursa mreže. Hasslinger i Schnitter [1], takođe, koriste ovo pravilo, kao i Heckmann [2] gde se u okviru T strategije (*Threshold-based Capacity Expansion Strategy*) uključuje i veličina *look ahead time* (*la*). U istom radu [2], između ostalog uvodi se i strategija CE (*Capacity expansion*) i TMCE (*Combined Traffic Engineering and Capacity Expansion Strategy*). Predložene strategije formulisane su kao problemi mešovitog celobrojnog programiranja. U TMCE strategiji razmatra se i problem dinamičkog rutiranja.

Osnovna karakteristika ovih strategija je prisustvo neizvesnosti u prognozi saobraćaja, u periodu nakon donošenja odluke o proširenju kapaciteta. Ovo ukazuje na činjenicu da proceni budućeg broja korisnika i potencijala tržišta na posmatranoj mreži treba posvetiti posebnu pažnju.

U ovom radu prognoziranje trenutnog broja korisnika odnosno intenziteta saobraćaja koji se generiše u posmatranom trenutku biće sprovedeno primenom *Bass*-ovog difuzionog modela.

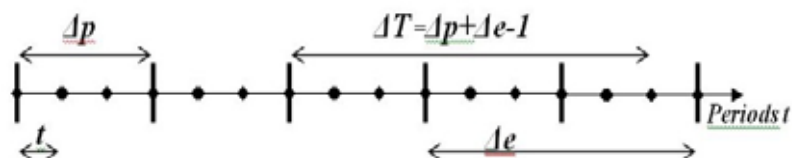
*Bass*-ov difuzioni model [1] opisuje proces prihvatanja novog servisa/proizvoda kroz interakciju između postojećih korisnika i potencijalnih korisnika. Ovaj model je našao primenu, pre svega, u prognoziranju prihvatanja novih servisa/proizvoda i tehnologija. Difuzioni proces je rezultat dva nezavisna uticaja: mas-medija i WoM efekta. Efekat mas medija se odnosi na korisnike zainteresovane za servise/proizvode koji su inovativni i najbolji. Ovaj segment tržišta je pod jakim uticajem reklama, koje kod korisnika stvaraju osećaj svesnosti i prisutnosti servisa. Sa druge strane, efekat usmenog prenošenja iskustva se više odražava na dinamiku prihvatanja novog servisa/proizvoda [3]. Prilikom modeliranja procesa difuzije na tržištu posmatraju se dva segmenta korisnika: inovatori i imitatori. Inovatori predstavljaju kategoriju korisnika koji prate razvoj nauke i tehnologije, i odmah prihvataju novi servis/proizvod kada se pojavi na tržištu. Potom, njihova iskustva se prenose na imitatore, putem različitih vidova socijalnog komuniciranja. Sam proces difuzije karakterišu tri parametra,  $p$ ,  $q$  i  $m$ . Parametar  $p$  predstavlja brzinu kojom započinje prihvatanje servisa/proizvoda a parametar  $q$  predstavlja brzinu difuzije kojom se dešava kasniji rast [3]. Ukupni potencijal tržišta,  $m$ , čine svi potencijalni korisnici servisa/proizvoda. U proceni ovog parametra mogu učestvovati: ukupna populacija, broj domaćinstava, ekonomski status pojedinaca i društva u celini, demografska struktura, natalitet, prisustvo konkurencije na tržištu, navike korisnika i sl.

Posle uvodnog dela, rad se sastoji iz sledećih celina: u drugom poglavlju predstavljen je proces proširenja mrežnih resursa kao i primena na slučaju WDM linkova. U trećem poglavlju prikazani su najvažniji elementi *Bass*-ovog difuzionog modela, dok je u četvrtom poglavlju prikazan je prošireni matematički model CE strategije. Peto poglavlje sadrži odgovarajući numerički primer, dok su u šestom poglavlju sumirani odgovarajući zaključci.

## 2. Proces proširenja resursa mreže

Proces proširenja mreže u slučaju primene na WDM linkovima baziran je na procesu, koji je opisao Heckmann[2]. Saobraćaj se analizira na osnovu podataka

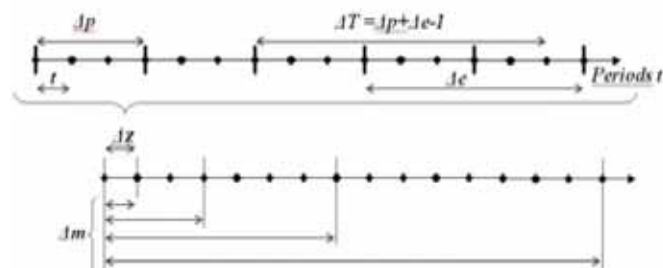
prikupljenih tokom više perioda  $t$ . Odluke o proširenju kapaciteta razmatraju se na svakih  $\Delta p$  perioda (Slika 1.). Ako se u posmatranom periodu donese odluka o proširenju tada period od tog momenta pa do momenta realizacije proširenja ima trajanje  $\Delta e$ , pri čemu treba imati u vidu da  $\Delta e$  može imati ili veću ili manju vrednost od  $\Delta p$ .



Slika 1. Osnovni proces proširenja kapaciteta mreže

Postupak donošenja odluke o proširenju kapaciteta linkova u vremenu  $t$  zavistan je od rezultata prognoziranja intenziteta saobraćaja za period ne manji od  $\Delta T$ . Veličina  $\Delta T$  je poznata pod nazivom horizont planiranja (*planning horizon*) i ne može biti manja od  $\Delta p + \Delta e - 1$ . Na ovaj način svi periodi su pokriveni procesom proširenja.

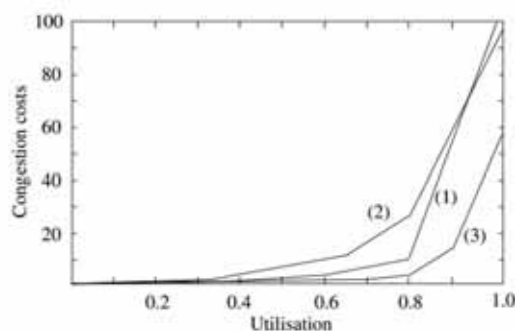
Strategije proširenja mrežnih resursa bazirane na ovom procesu modelirane su na bazi pretpostavke da posmatrani kapacitet jednog linka treba da bude proširen dupliranjem, što može biti realizovano kroz dodavanje još jednog fizičkog linka, multipleksera i sl. U slučaju primene na WDM mrežama usvojen je scenario u kome se kapacitet može proširiti aktivacijom neupotrebljenih talasnih dužina na postojećem multipleksu. Uzimajući navedeno u obzir, proces proširenja resursa mreže u ovom slučaju se primenjuje na sledeći način: umesto dupliranja kapaciteta proširenje se realizuje inkrementalnim aktiviranjem neaktivnih talasnih dužina (na primer, kapacitet linka sa 4 aktivne talasne dužine će biti proširen tako što će prvo biti aktivirana 5. talasna dužina, zatim 6. u narednom ciklusu, itd.). Tek potom su sve raspoložive talasne dužine aktivirane, onda se vrši zamena multipleksera (na oba kraja WDM linka) i to na taj način da će biti upotrebljen multiplekser sa duplim kapacitetom (npr. MUX2 → MUX4, MUX4 → MUX8, itd.). U ovom slučaju, periodi aktivacije novih talasnih dužina su označeni sa  $\Delta z$ , a periodi aktivacije novih multipleksera sa  $\Delta m$  (Slika 2.).



Slika 2. Proces proširenja kapaciteta, modifikovan za scenario primene na WDM linku

Proces proširenja linkova podrazumeva dve vrste troškova [3]. Prvu vrstu čine tzv. interesni troškovi  $cp^i$ , koji predstavljaju oportunitetne troškove vezane za propušten prihod ukoliko se proširenje odloži za kasniji period, a koji predstavljaju interesnu komponentu same investicije, kao i uštedu povezanu sa padom cena opreme u periodu odgađanja. Drugu vrstu troškova čine tzv. troškovi zagušenja  $cp^x(u_i)$ , koji utiču direktno na gubitak prihoda odnosno zahteva korisnika, gde je stepen iskorišćenja linka  $u_i$  dostigao

neprihvatljivi nivo i gde  $QoS$  ne pruža nikakve garancije krajnjem korisniku. Ovo je predstavljeno kroz tzv. funkciju troškova zagušenja na Slici 3., koja je veoma slična funkciji koju su analizirali Fortz and Thorup [5].



Slika 3. Funkcija troškova zagušenja [2]

Odnos ove dve vrste troškova može se prikazati na sledeći način:

$$c = \frac{cp^i}{cp^x(u_i)} \quad (1)$$

Navedeni odnos troškova ima značajnu ulogu u modelima za proširenje resursa mreže, i analitički su predstavljeni kroz postavku problema mešovitog celobrojnog programiranja.

### 3. Bass-ov difuzioni model

Difuzioni proces se, prema *Bass*-ovom modelu, može predstaviti diferencijalnom jednačinom [3].

$$\frac{dN(t)}{dt} = \left( p + \frac{q}{m} N(t) \right) (m - N(t)) \quad (2)$$

Ako je  $N(0)=0$  za  $t=t_0=0$ , rešenje diferencijalne jednačine (2) predstavlja vremensku zavisnost difuzionog procesa

$$N(t) = m \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \quad (3)$$

Funkcija  $N(t)$  predstavlja kumulativni broj korisnika u trenutku  $t$ . Grafik navedene funkcije ima oblik "S krive". Intenzitet prodaje servisa/proizvoda u trenutku  $t$ ,  $s(t)$ , predstavlja istovremeno i osnovni oblik *Bass*-ovog modela

$$s(t) = pm + (q - p)N(t) - \frac{q}{m} N^2(t). \quad (4)$$

*Bass*-ov model predstavlja, u smislu fleksibilnosti, veoma pogodan model za prognoziranje prihvatanja novog servisa/proizvoda. Međutim, neophodno je naglasiti da proceni parametara modela treba posvetiti neophodnu pažnju.

#### 4. Matematička formulacija proširene CE strategije

Proširena CE strategija se može formulisati kao problem mešovitog celobrojnog programiranja (MIP) na sledeći način:

Neka je:

$t = t_0, \dots, (t_0 + \Delta T)$  Period  $t$

$s = 1, \dots, S$  Korak  $s$  funkcije troškova zagušenja (Fig. 3)

$l = 1, \dots, L$  Link  $l$

$c_{lt} = n_{lt} C$  Kapacitet pojedinačnog  $l$  u periodu  $t$  ( $c_{lt}$ ) određen je brojem aktivnih talasnih dužina ( $n_{lt}$ ) i njihovim kapacitetom  $C$ .

$m_{lt} = 2^{n_{lt}}$  Multiplekser  $m_{lt}$  određen je brojem talasnih dužina  $n_{lt}$

Shodno navedenom, interesni troškovi  $F_{lt}^i$  u procesu proširenja kapaciteta WDM linkova mogu se predstaviti kao

$$F_{lt}^i = c_{n_{lt}}^i + z_{lt} c_{m_{lt}}^i \quad (5)$$

gde

- $c_{n_{lt}}^i$  označava investicione troškove aktiviranja neaktivnih talasnih dužina na linku  $l$  u periodu  $t$ ,
- $c_{m_{lt}}^i$  označava investicione troškove zamene multipleksera  $m_{lt}$  kao i ostale neophodne opreme,
- $z_{lt} = \begin{cases} 0, & n_{lt} \leq m_{lt} \\ 1, & n_{lt} = m_{lt} \end{cases}$  označava vreme kada multiplekser treba da bude zamenjen.

Parametri modela su:

$t_0$  Početni trenutak

$\Delta T$  Horizont planiranja

$\vartheta_{lt}$  Prognozirani intenzitet saobraćaja linka  $l$  u periodu  $t$

$c_{(t_0-1)l}$  Inicijalni kapacitet linka  $l$

$q_s$  Interesni troškovi za dati kapacitet linka

$cp_s^x$  Dodatni troškovi u koraku  $s$  funkcije troškova zagušenja

$M$  Dovoljno veliki broj  $M \geq \max_l (2^{\Delta T-1} c_{0l})$

$n_{lt}$  Broj aktivnih talasnih dužina na linku  $l$  u periodu  $t$ ,

$C$  Kapacitet jedne talasne dužine

$\Omega$  Set para linkova  $(l_1, l_2)$  sa suprotnim smerom protoka

Promenljive:

$x_{stl}$  Priraštaj troškova zagušenja dobijen u koraku  $s$  na linku  $l$

$c_{tl}$  Kapacitet linka  $l$  u periodu  $t$

$e_{tl}$  Binarna promenljiva, koja ima vrednost, 1 ako je došlo do proširenja kapaciteta linka  $l$  na početku perioda  $t$ , a 0 u suprotnom.

Novi model za proširenje kapaciteta definisan je sledećom funkcijom cilja [7]:

$$\min \sum_t \sum_l c p_{tl}^i n_{tl} C + \sum_t \sum_l \sum_s c p_s^x x_{stl} \quad (6)$$

uz sledeća ograničenja:

$$n_{tl} \geq n_{(t-1)l} + e_{tl} \quad \forall t \forall l \quad (7)$$

$$c_{tl} \leq c_{(t-1)l} + M \cdot e_{tl} \quad \forall t \forall l \quad (8)$$

$$x_{stl} \geq \vartheta_{tl} - q_s c_{tl} \quad \forall s \forall t \forall l \quad (9)$$

$$e_{tl_1} = e_{tl_2} \quad \forall t \forall (l_1, l_2) \in \Omega \quad (10)$$

$$c_{tl_1} = c_{tl_2} \quad \forall t \forall (l_1, l_2) \in \Omega \quad (11)$$

$$n_{tl_1} = n_{tl_2} \quad \forall t \forall (l_1, l_2) \in \Omega \quad (12)$$

$$c_{tl} \geq 0 \quad \forall t \forall l \quad (13)$$

$$x_{stl} \geq 0 \quad \forall s \forall t \forall l \quad (14)$$

$$n_{tl} \geq 1 \quad \forall t \forall l \quad (15)$$

$$e_{tl} \in \{0,1\} \quad \forall t \forall l \quad (16)$$

Ograničenja (6) i (7) su formulacije strategije proširenja kapaciteta, objašnjene u 2. poglavlju, troškovi zagušenja su predstavljeni ograničenjem (8), dok ograničenja od (9) do (11) određuju pravilo da proširenje linkova mora biti izvedeno za oba smera. Ograničenje (16) se koristi u slučaju kada je došlo do proširenja kapaciteta linka  $l$  na početku perioda  $t$ . Parametar  $\vartheta_{tl}$  se dobija primenom Bass-ovog difuzionog modela (2-4):

$$\vartheta_{tl} = D \cdot m \cdot \left( p + (q - p) \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} - q \cdot \left( \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \right)^2 \right) \quad (17)$$

gde je  $D$  srednji intenzitet saobraćaja po korisniku na linku  $l$ .

## 5. Numerički primer

Model predstavljen u prethodnom poglavlju može se predstaviti numeričkim primerom za procenu proširenja jednog magistralnog DWDM linka na osnovu prognoze saobraćaja za period od 12 godina (72 intervala od po 2 meseca). Referentni uzorak intenziteta saobraćaja, na akademskom DANTE linku, izmeren je u periodu od 24 meseca. Na osnovu prikupljenih statističkih podataka, veličine IP adresnog prostora i pretpostavke da je 10% javnih IP adresa upotrebljeno za potrebe NAT translacije, dobijen je uzorak broja klijenata prikazan u Tabeli 1. Treba napomenuti da je izraz „klijent“ namerno odabran, obzirom da je pretpostavljeno da se u slučaju upotrebe lokalnih bežičnih mreža, jedan korisnik može povezati sa više klijenata (npr. laptop računar i mobilni telefon) u isto vreme. Na osnovu izveštaja kompanije *Akamai*, pod nazivom „*State of the Internet*“ [6] usvojena je prosečna brzina jednog klijenta od 3.3 Mb/s.

Tabela 1. Broj klijenata u uzorku sa pretpostavkama

Period	Ukupni saobraćaj (Gbps)	Broj klijenata (x1000)	Period	Ukupni saobraćaj (Gbps)	Broj klijenata (x1000)	Period	Ukupni saobraćaj (Gbps)	Broj klijenata (x1000)
1	96.602	29.273	9	158.319	47.879	17	261.258	79.178
2	101.287	30.701	10	168.658	51.37	18	277.863	82.174
3	107.998	33.182	11	179.644	52.848	19	261.257	87.003
4	115.142	35.781	12	191.311	53.221	20	277.862	93.660
5	122.745	37.076	13	203.699	58.52	21	295.443	99.868
6	130.835	40.867	14	216.846	63.663	22	314.047	101.685
7	139.439	42.033	15	230.794	67.942	23	333.720	109.839
8	148.59	42.055	16	245.583	71.846	24	354.512	115.072

Nad navedenim podacima izvršena je regresiona analiza na osnovu kojih su dobijene vrednosti parametara  $a=28.78277674$ ,  $b=0.06430346$  i  $c=-0.0000015974546$ . Primenom izraza za dobijanje parametara inovacije, imitacije i potencijala tržišta, dobijene su vrednosti  $p=0.000707255$ ,  $q=0.065010717$  i  $m=40696$ , nakon čega je izvršeno prognoziranje broja klijenata. Za prošireni CE model, usvojena je strategija, po kojoj osnovni period za prikupljanje podataka iznosi 2 meseca, dok se odluka o proširenju razmatra svaka 3 perioda (6 meseci). Takođe, usvojeno je da je na početku  $\Delta e=3$ , kao i odnos  $cp^i/cp^s(60\%)=1$ , tj. za  $t=1$ ,  $\Delta p=3$  i  $\Delta T \geq 5$ . Za potrebe sprovedenih proračuna usvojena je vrednost  $\Delta T=9$ . MIP problem je rešavan *branch & bound* metodom sa *LP* relaksacijom, pomoću paketa *LP-solve IDE 5.5.2.0*. Svaka iteracija je dala optimalno rešenje, sa „odličnom“ numeričkom tačnošću. Za potrebe kontrolnog proračuna upotrebljena je strategija *Threshold-based Capacity Expansion Strategy* (T) [2], kao reprezent „*Rule of Thumb*“ klase strategija, sa parametrom  $la=0$ , što znači da nema odlaganja u primeni strategije, po donošenju odluke. Rezultati eksperimenta prikazani su u Tabeli 2.

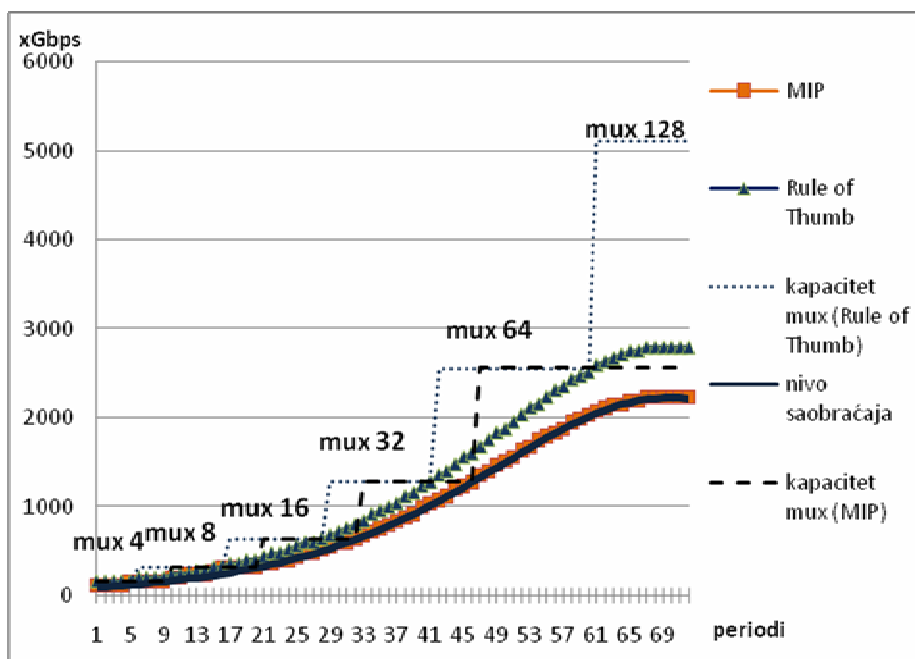
Stepen zagušenja linka od 80% usvojen je kao kritična vrednost za proširenje linka, imajući u vidu da se QoS značajno degradira pri ekstremno visokim nivoima zagušenja linka. Rezultati eksperimenta pokazali su značajno odlaganje aktivacije novih talasnih dužina (do 14 perioda). Na osnovu dobijenih rezultata opreme (Slika 4.), može se uočiti da se primenom MIP modela mogu postići duži periodi odlaganja odluke o proširenju resursa linka (aktivacije talasnih dužina ili zamene MUX uređaja). Time se mogu ostvariti značajne uštede, s obzirom da cena opreme ima opadajući trend tokom

vremena. U ovom primeru postignuta su značajna odlaganja trenutaka zamene MUX uređaja (4 perioda, odnosno 8 meseci u proseku).

Tabela2. Rezultati eksperimenta

Period	Saobraćaj	Broj talasnih dužina	Broj talasnih dužina	Razlika u periodima	Period	Saobraćaj	Broj talasnih dužina (MIP)	Broj talasnih dužina	Razlika u periodima aktivacije
<b>1</b>	96.602	3	4	1	<b>37</b>	830.372	21	26	5
<b>2</b>	101.287	3	4	1	<b>38</b>	874.394	22	28	6
<b>3</b>	107.998	3	4	1	<b>39</b>	919.972	23	29	6
<b>4</b>	115.142	3	4	1	<b>40</b>	967.063	25	31	6
<b>5</b>	122.745	4	4	0	<b>41</b>	1015.614	26	32	6
<b>6</b>	130.835	4	5	1	<b>42</b>	1065.553	27	34	7
<b>7</b>	139.439	4	5	1	<b>43</b>	1116.795	28	35	7
<b>8</b>	148.590	4	5	1	<b>44</b>	1169.237	30(29*)	37	7
<b>9</b>	158.319	4	5	1	<b>45</b>	1222.756	31	39	8
<b>10</b>	168.658	5	6	1	<b>46</b>	1277.211	32	40	8
<b>11</b>	179.644	5	6	1	<b>47</b>	1332.443	34(33*)	42	8
<b>12</b>	191.311	6	6	0	<b>48</b>	1388.272	35	44	9
<b>13</b>	203.699	6	7	1	<b>49</b>	1444.496	37	46	9
<b>14</b>	216.846	6	7	1	<b>50</b>	1500.898	38	47	9
<b>15</b>	230.794	7	8	1	<b>51</b>	1557.237	39	49	10
<b>16</b>	245.583	8(7*)	8	0	<b>52</b>	1613.257	41(40*)	51	10
<b>17</b>	261.258	8(7*)	9	0	<b>53</b>	1668.684	42	53	11
<b>18</b>	277.863	8	9	1	<b>54</b>	1723.229	44(43*)	54	11
<b>19</b>	295.444	8	10	2	<b>55</b>	1776.591	45	56	11
<b>20</b>	314.047	8	10	2	<b>56</b>	1828.458	46	58	12
<b>21</b>	333.721	9	11	2	<b>57</b>	1878.511	47	59	12
<b>22</b>	354.512	9	12	3	<b>58</b>	1926.427	49(48*)	61	12
<b>23</b>	376.469	10(9*)	12	2	<b>59</b>	1971.886	50	62	12
<b>24</b>	399.641	10	13	3	<b>60</b>	2014.567	51	63	12
<b>25</b>	424.075	11	14	3	<b>61</b>	2054.163	52	65	13
<b>26</b>	449.817	12	15	3	<b>62</b>	2090.376	53	66	13
<b>27</b>	476.915	12	15	3	<b>63</b>	2122.927	54	67	13
<b>28</b>	505.411	13	16	3	<b>64</b>	2151.560	54	68	14
<b>29</b>	535.348	14	17	3	<b>65</b>	2176.041	55	69	14
<b>30</b>	566.765	15	18	3	<b>66</b>	2196.171	55	69	14
<b>31</b>	599.696	15	19	4	<b>67</b>	2211.779	56	70	14
<b>32</b>	634.172	16	20	4	<b>68</b>	2222.735	56	70	14
<b>33</b>	670.218	17	21	4	<b>69</b>	2228.944	56	70	14
<b>34</b>	707.853	18	23	5	<b>70</b>	2230.353	56	70	14
<b>35</b>	747.090	19	24	5	<b>71</b>	2226.950	56	70	14
<b>36</b>	787.931	20	25	5	<b>72</b>	2218.764	56	70	14





Slika 4. Rezultati eksperimenta

Međutim, odlaganje aktivacije dobijeno upotrebom MIP modela ima i negativan efekat koji se ogleda u ekstremno visokim nivoima zagušenja linkova (jednaki ili veći od 90%), što može imati uticaj na povećan broj nezadovoljnih korisnika usled pada performansi mreže, a samim tim i na pad ostvarenih prihoda mrežnog operatora. U nekim slučajevima (u Tabeli 2, označeni su \*), dostiže se opterećenje i do 100%, zbog čega je u korespondentnim periodima bilo potrebno uvesti po dve talasne dužine. Nasuprot tome, upotreba  $T$  strategije je, u ovom eksperimentu, pokazala prihvatljive nivoe opterećenja (oko 80%).

## 6. Zaključak

U ovom radu razmotren je model proširenja kapaciteta mrežnih resursa kroz prikazani eksperiment primenjen na jednom DWDM linku. Takođe, analizirana je zavisnost nivoa saobraćaja na linku i parametara Bass-vog difuzionog modela na slučaju određivanja optimalnog vremena za proširenje DWDM linka. Pokazano je da je moguće prognozirati saobraćaj upotrebom Bass-ovog difuzionog modela, kao i da postoji zavisnost između parametara inovacije i imitacije, sa jedne strane i nivoa saobraćaja na linku sa druge. Treba primetiti da je u istoj relaciji neophodno prisustvo prosečnog nivoa saobraćaja po korisniku. Ova veličina može imati veoma kompleksan karakter, jer uključuje veliki broj scenarija, na osnovu kojeg ova vrednost može značajno varirati. Zbog toga je u pripremi ulaznih podataka potrebno izvršiti i analizu strukture servisa, za koje se generiše saobraćaj od strane potencijalnih korisnika, međutim taj problem u ovom slučaju, nije predmet samog istraživanja. Na osnovu prikazanih numeričkih rezultata, može se zaključiti da primena MIP strategija dovodi do značajnih ušteda, ali i do

ekstremnih stepena zagušenja. Zbog toga je u određenim scenarijima potrebno uključiti i primenu strategija, baziranih na upotrebi pravila „*Rule of Thumb*“.

### **Zahvalnica**

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata TR36012 i TR32025.

### **Literatura**

- [1] Hasslinger G., Schnitter S., “IP Network Expansion for Growing Traffic Demand with Shortest Path Routing Compared to Traffic Engineering”, *Proceedings of Networks*, pp. 81–86, 2004.
- [2] Heckmann O., “The Competitive Internet Service Provider: Network Architecture, Interconnection, Traffic Engineering and Network Design”, Wiley, 2006.
- [3] Bass F. M., “A New Product Growth for Model Consumer Durables”, *Management Science*, Vol. 15, No. 5, pp. 215-227, 1969.
- [4] Radojičić V., Bakmaz B., Veličković S., “*Prognoziranje novih telekomunikacionih servisa*”, Saobraćajni fakultet, 2013.
- [5] Fortz B., Thorup M., “Optimizing OSPF/IS-IS Weights in a Changing World”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 20, No. 4, pp 756–767, 2002
- [6] “*The State of the Internet*”, Volume 6, no. 2, 2<sup>nd</sup> quarter, 2013 Report, Akamai Technologies, [http://www.akamai.com/dl/akamai/akamai\\_soti\\_q213\\_exec\\_summary.pdf](http://www.akamai.com/dl/akamai/akamai_soti_q213_exec_summary.pdf), 01.11.2013.
- [7] Mitrović S., Radojičić V., Marković G., “Network capacity expansion strategies based on link congestion costs”, *Proceedings of 11<sup>th</sup> TELSIKS*, Vol.1 pp.129-132, Niš, 2013.

**Abstract:** *In this paper, some strategies for network resources extension based on service demand function model will be considered. A part of the research is to investigate the relationship between the link congestion costs and Bass diffusion model parameters in order to determine optimal period until the extension of DWDM link resources, which is analyzed throughout numerical example.*

**Abstract:** *strategies for network resources extension, Bass diffusion model, DWDM link.*

## **STRATEGIES FOR NETWORK RESOURCES EXTENSION BASED ON DEMAND FUNCTION MODEL**

Slobodan Mitrović, Valentina Radojičić, Goran Marković